

(12)

PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 1078/90

(51) Int.Cl.⁶ : **G02B 21/02**
G02B 13/14

(22) Anmeldetag: 15. 5.1990

(42) Beginn der Patentdauer: 15. 5.1995

(45) Ausgabetag: 25. 1.1996

(30) Priorität:

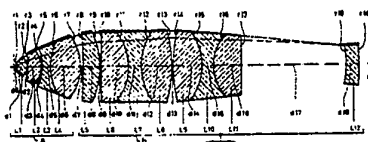
16. 5.1989 DE 3915868 beansprucht.

(73) Patentinhaber:

CARL ZEISS
D-7920 HEIDENHEIM (DE).

(54) UV-TAUGLICHES TROCKENOBJEKTIV FÜR MIKROSKOPE

(57) Das Objektiv ist bezüglich des Öffnungsfehlers gleichzeitig im sichtbaren Spektralbereich und für eine ausgewählte UV-Wellenlänge korrigiert und besteht aus zwei gegeneinander verschiebbaren Objektivteilen (a,b). Die UV-Wellenlänge, bei der der Öffnungsfehler korrigiert ist, läßt sich über den veränderlichen Luftabstand (d7) zwischen diesen Objektivteilen (a,b) gezielt einstellen.



Die bisher bekannten UV-tauglichen Objektive lassen sich in zwei Klassen einteilen: - Trockenobjektive mit relativ kleinem Abbildungsmaßstab und niedriger Apertur, z.B. 10-facher Vergrößerung und einer numerischen Apertur von 0,25; - Immersionsobjektive mit relativ großem Abbildungsmaßstab und hoher Apertur, z.B. 100-facher Vergrößerung und einer numerischen Apertur von 0,85.

5 Es sind jedoch keine hochaperturigen Trockenobjektive bekannt, die gleichzeitig UV-tauglich sind und einen relativ hohen Arbeitsabstand besitzen. Der Grund hierfür ist darin zu sehen, daß je größer der Arbeitsabstand eines solchen Objektives gefordert ist, umso schwieriger es ist, die Korrektur vor allem von Öffnungsfehler und Gaußfehler sicherzustellen. Denn ein UV-durchlässiges Objektiv erfordert eine Korrektur über einen sehr großen Spektralbereich, und andererseits stehen für diese Aufgabe nur sehr wenige

10 UV-durchlässige Gläser zur Verfügung.

Nun werden aber beispielsweise für Strukturbreitenmessungen an unbedeckten Objekten, wie z.B. den Wafern in der Halbleiterindustrie, zunehmend Objektive gefordert, mit denen sich die zu beobachtenden Strukturen in einer Größenordnung von unter 1 μm ausreichend gut auflösen lassen. Die Objektive sollen im sichtbaren Spektralbereich bis zu einem Bildfeld von 25 mm Durchmesser korrigiert sein, damit das

15 Objekt visuell beobachtet und auf die Oberfläche fokussiert werden kann. Für die eigentliche Objektvermessung ist dann ein automatischer konfokaler Strahlscan bei einer diskreten Wellenlänge im UV-Bereich vorgesehen, um das Auflösungsvermögen zu erhöhen. Objektive für diesen Zweck sollen einen Abbildungsmaßstab von $\beta = -60$ bis $\beta = -100$ besitzen und eine Apertur von mindestens 0,7. Außerdem wird gefordert, daß sie ein geebnetes Bildfeld besitzen und möglichst verzeichnungsfrei sind.

20 Wie eingangs erwähnt sind die bisher bekannten Objektive für diesen Zweck nicht geeignet.

In der DE-OS 36 33 088 ist ein UV-taugliches Mikroskopobjektiv aus neun Linsen beschrieben, das jedoch nur bis zu einer Wellenlänge von 450 nm brauchbar ist.

Das in der SU-PS 58 42 74 genannte, angeblich UV-taugliche Mikroskopobjektiv aus elf Linsen ist bezüglich seiner Konstruktionsparameter und des Korrekturzustandes nicht spezifiziert.

25 In der US-PS 42 00 352 und in der EP-A2 269 926 sind UV-taugliche Objektive beschrieben, die jedoch eine geringe Apertur und einen niedrigen Abbildungsmaßstab besitzen. Hier stellt die Korrektur des Öffnungsfehlers über den Spektralbereich kein Problem dar.

In der EP-A2-284 414 ist ein UV-Objektiv für Waferstepper beschrieben. Dieses Objektiv ist jedoch nur für den UV-Bereich korrigiert.

30 Weiterhin sind hochaperturige Trockenobjektive für Mikroskope bekannt, für die sich die sphärische Aberration durch Verschieben von Linsengliedern auf Deckgläser mit unterschiedlichen Dicken einstellen läßt. Solche Objektive sind beispielsweise in der DE-OS 26 02 730 und in der US-PS 46 66 256 beschrieben. Diese Objektive sind jedoch für den beschriebenen Anwendungsfall nicht geeignet, da sie einmal nicht für den UV-Bereich korrigiert sind und zum anderen dort der Öffnungsfehler nicht gezielt für

35 eine bestimmte Wellenlänge optimiert werden kann.

Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein hochaperturiges, UV-taugliches Objektiv für Mikroskope zu schaffen, das sowohl im sichtbaren Spektralbereich ausreichend gut korrigiert ist, das jedoch darüber hinaus auch für mehrere Wellenlängen im UV-Spektralbereich hinsichtlich des Öffnungsfehlers so gut korrigiert ist, daß sich ein Meßstrahl vom Objektiv beugungsbegrenzt fokussieren läßt.

40 Diese Aufgabe wird für ein UV-taugliches Trockenobjektiv für Mikroskope dadurch gelöst, daß das Objektiv mit einer Apertur größer als 0,7 und einem Abbildungsmaßstab von mindestens 60 mal bezüglich des Öffnungsfehlers für den sichtbaren Spektralbereich und gleichzeitig für eine ausgewählte UV-Wellenlänge korrigiert ist, daß das Objektiv ein erstes, eine Linse oder Linsengruppe aufweisendes Teil und ein zweites, eine Linsengruppe aufweisendes Teil umfaßt und daß das erste und zweite Teil gegeneinander

45 verschiebbar sind, wobei die ausgewählte UV-Wellenlänge, bei der der Öffnungsfehler korrigiert ist, von dem veränderlichen Luftabstand zwischen der Linse oder Linsengruppe des ersten Teils und der Linsengruppe des zweiten Teils abhängt.

Die Erfindung geht von der Überlegung aus, daß es nicht unbedingt notwendig ist, das Objektiv hinsichtlich des Öffnungsfehlers so zu korrigieren, daß sich ein beugungsbegrenzter Fokusdurchmesser

50 über den gesamten nutzbaren Spektralbereich ergibt. Es ist vielmehr ausreichend, bei gleichzeitig guter Korrektur des sichtbaren Spektralbereichs das Objektiv für eine einzelne ausgewählte UV-Wellenlänge optimal zu korrigieren, wenn sich diese Wellenlänge, bei der das Objektiv optimal korrigiert ist, verändern läßt. Denn auch auf diese Art und Weise läßt sich das Objektiv an die unterschiedlichen, in der Halbleiterindustrie verwendeten mehr oder weniger monochromatischen UV-Strahlquellen anpassen.

55 Es hat sich nun gezeigt, daß sich der Öffnungsfehler tatsächlich bei gleichzeitig bleibender guter Korrektur im sichtbaren Spektralbereich für verschiedene UV-Wellenlängen optimieren läßt, wenn der Luftabstand zwischen den Linsen oder Linsengruppen zweier gegeneinander verschiebbarer Teile des Objektivs geändert wird.

Auf diese Weise läßt sich die Korrektur des Objektivs im gesamten UV-Spektralbereich an die verwendete, zu fokussierende Strahlquelle anpassen.

Hierbei ist es besonders zweckmäßig, wenn der Öffnungsfehler des Objektivs so korrigiert ist, daß Änderungen des Öffnungsfehlers in Abhängigkeit von der Wellenlänge, d.h. der Gaußfehler, jeweils in
 5 Richtung auf den längerwelligen sichtbaren Spektralbereich und in Richtung auf den kürzerwelligen UV-Bereich in beiden Fällen das gleiche Vorzeichen besitzen.

In den einleitend genannten bekannten Trockenobjektiven mit Deckglaskorrektur erfolgt der Eingriff auf den Öffnungsfehler in der Weise, daß ein Luftraum im Objektiv variiert wird, der Glieder mit vergleichbar großen Brechkraften trennt. Denn bisher wurde vereinfacht angenommen, daß die Flächenbelastungen der
 10 feststehenden Linsengruppe konstant bleiben und nur die gegenüber der feststehenden Gruppe verschobene, z.B. hintere Linsengruppe, den Öffnungsfehler verändert. Dies gilt jedoch nur, wenn sich der Arbeitsabstand des Gesamtobjektivs beim Nachfokussieren nach der Korrekturverstellung eines Linsengliedes nicht ändert. Eine Abstandsvariation in der Frontgruppe eines Objektivs, wo der Öffnungsstrahl im allgemeinen noch stark divergent verläuft, verändert jedoch den Arbeitsabstand des gesamten Objektivs schon
 15 merklich. Dadurch ändern sich auch die Inzidenzwinkel im vorderen feststehenden Objektivteil, das somit einen weiteren Beitrag zur gesamten Bildfehleränderung leistet.

Es ist deshalb zweckmäßig ein solcher Luftabstand als veränderbar ausgewählt, daß die durch eine Verschiebung des hinteren Teils b des Objektivs bewirkte Änderung des Öffnungsfehlers und der Beitrag, den der vordere Teil a des Objektivs zum Öffnungsfehler beim anschließenden Nachfokussieren liefert, das
 20 gleiche Vorzeichen besitzen. Beide Beiträge zum Öffnungsfehler kompensieren sich somit nicht, sondern verstärken sich. Denn dann läßt sich der gewünschte Eingriff auf den Öffnungsfehler mit relativ kleinen Luftraumänderungen im Objektiv bewerkstelligen und die Grundkorrektur des Objektivs, d.h. die übrigen Bildfehler, ändern sich nur sehr wenig. Außerdem wird mit dieser Maßnahme der ohnehin schon meist knappe Arbeitsabstand des Objektivs durch die Korrekturbewegung nicht nochmals verringert.

Es ist weiterhin zweckmäßig, wenn Abstandsänderungen des veränderlichen Luftabstandes die Wellenlängen, für die der Öffnungsfehler optimal korrigiert ist, im UV-Bereich und im sichtbaren Spektralbereich gleichzeitig in entgegengesetzter Richtung verschieben.

Zweckmäßig ist es auch, wenn sich der Öffnungsfehler im UV-Bereich bis mindestens zu einer Wellenlänge von 260 nm beugungsbegrenzt korrigieren läßt.

Bei konkret offenbarten Ausführungsbeispielen besitzt das Objektiv zwischen elf und dreizehn Linsen, wobei die Linsen aus Suprasil und Flußspat bestehen. Dabei kann das Objektiv in Lichtenfallsrichtung gesehen folgenden Aufbau besitzen: eine konkav-konvexe, als Einzellinse oder Kittglied ausgebildete Frontlinse; eine sammelnde, aus einer konkav-konvexen Einzellinse und einem konkav-konvexen Kittglied
 30 oder nur aus einem konkav-konvexen Kittglied bestehende Linsengruppe; eine sammelnde Einzellinse; ein erstes aus drei Linsen bestehendes Kittglied; ein zweites aus drei Linsen bestehendes Kittglied und eine in größerem Luftabstand dazu angeordnete zerstreuliche Einzellinse oder ein zerstreuliches Kittglied.

Bei besonders bevorzugten Ausführungsbeispielen besitzt das Objektiv die in einer der nachfolgenden Tabellen I, II, III oder IV angegebenen Daten.

Mit den erfindungsgemäßen Maßnahmen ist es möglich, ein gut korrigiertes, UV-taugliches Trockenobjektiv mit einer Apertur von mindestens 0,7 und einem Abbildungsmaßstab von größer als 60x aus elf bis
 40 dreizehn Linsen aufzubauen. Diese Linsen bestehen zweckmäßig aus den Glasarten Suprasil und Flußspat, so daß das Objektiv im Spektralbereich zwischen dem langwelligen sichtbaren Spektralbereich von ca. 650 nm bis in den UV-Bereich bei etwa 240 nm gut verwendbar ist.

Nachfolgend werden vier Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Fig. 1 - 15 der beigefügten
 45 Zeichnungen näher erläutert. Fig. 1 - 4 stellen Linsenschnitte der vier Ausführungsbeispiele für das Objektiv dar; in den Fig. 5 - 8 sind die Korrekturkurven der Objektive aus Fig. 1 - 4 dargestellt; die Fig. 9 - 12 sind Diagramme, in denen die für eine optimale Korrektur des Öffnungsfehlers bei verschiedenen Wellenlängen notwendigen Luftabstandsänderungen Δd für verschiedene Luftabstände d_i der Objektive aufgetragen sind; Fig. 13 stellt jeweils für verschiedene Wellenlängen die Intensitätsverteilung des Airy-Beugungsscheibchens
 50 des Objektivs aus Fig. 1 bei festem Luftabstand d_7 dar; Fig. 14 stellt den Durchmesser des Airy-Scheibchens des Objektivs aus Fig. 1 für die verschiedenen Wellenlängen dar, wobei der Luftabstand d_7 jeweils im Hinblick auf minimalen Öffnungsfehler eingestellt ist; Fig. 15 ist der Linsenquerschnitt des mit den Objektiven nach Fig. 1 - 4 verwendeten Tubuslinsensystems.

Alle in Fig. 1 - 4 dargestellten Objektive haben gemeinsam, daß mit mehreren Linsen oder Kittgliedern
 55 in dem Frontteil a zunächst die Öffnungsstrahlen annähernd kollimiert werden und dann die verbleibenden Bildfehler vor allem durch verschiedene Kombinationen von Einzellinsen und Kittgliedern mit geringerer Brechkraft in dem hinteren Teil b korrigiert werden. Eine Feldlinse im hinteren Objektivteil korrigiert die Petzvalsumme und andere feldabhängigen Bildfehler. Die Objektive unterscheiden sich jedoch bezüglich

des Arbeitsabstandes, in der Linsenzahl und im Aufbau der Kittglieder.

Das Ausführungsbeispiel in Fig. 1 besitzt eine konkav-konvexe Frontlinse L1, auf die eine ebenfalls konkav-konvexe Einzellinse L2 folgt. Hieran schließt sich ein Kittglied bestehend aus einer bikonkaven Linse L3 und einer bikonvexen Linse L4. Diese vier Linsen bilden den ersten, feststehenden Teil a des Objektivs.

5 Hieran schließt sich, durch den Luftspalt d7 getrennt, der zweite gegenüber dem Teil a verschiebbliche Teil b des Objektivs an. Dieser besitzt folgenden Aufbau: auf eine konkav-konvexe Einzellinse L5 folgt ein Kittglied aus drei Linsen, nämlich zwei bikonvexen Sammellinsen L6 und L8, zwischen denen eine bikonkave Zerstreuungslinse L7 eingeschlossen ist. Auf das erste Kittglied folgt ein zweites, ebenfalls aus drei Linsen bestehendes Kittglied. Dieses besteht wiederum aus zwei bikonvexen Linsen L9 und L11, die
10 eine bikonkave Linse L10 einschließen. Hierzu ist mit relativ großem Luftabstand d17 eine konkav-konvexe Einzellinse L12 angeordnet. Diese Feldlinse L12 korrigiert im wesentlichen die Petzvalsumme und andere feldabhängige Bildfehler.

Das Objektiv nach Fig. 1 besitzt die in Tabelle I angegebenen Daten. Die zugehörigen Korrektionskurven für die sphärische Aberration, Verzeichnung und Astigmatismus sind in Fig. 5 dargestellt. Hier bleibt
15 anzumerken, daß die sphärische Aberration und der Astigmatismus in Raleigheinheiten angegeben sind, während die Verzeichnung in Prozent angegeben ist. Das Objektiv ist auf Schnittweite unendlich korrigiert und erzeugt sein Zwischenbild ZB in Verbindung mit einer UV-Tubuslinse mit einer Brennweite $f = 164,6$ mm. Diese Tubuslinse ist in Fig. 15 dargestellt. Sie besteht aus einer Sammellinse 101 und einer Zerstreuungslinse 102. Mit 103 ist das vom Abbildungsstrahlengang durchsetzte Prisma im Binokulartubus
20 des Mikroskops bezeichnet. Die Konstruktionsparameter des Tubuslinsensystems sind in Tabelle V aufgelistet.

Tabelle V

25

30

Nr.	Radius r/mm	Dicke/Luftabstand d/mm	Glasart
121	07.4600	5.700	SPL
122	-42.1700	1.130	
123	-40.3880	3.800	FL
124	-281.8400	9.001	
125	PLAN	42.040	SPL
126	PLAN	119.300	
SPL = Suprasil FL = Flußspat			

35

In Fig. 9 sind die Abstandsänderungen Δd in mm über der Wellenlänge WL aufgetragen, die erforderlich sind, um den Öffnungsfehler durch eine Variation der Luftabstände d2, d7, d9 oder d4 für die betreffende Wellenlänge zu minimieren. Man erkennt deutlich, daß der Abstand d2 für diesen Zweck ungünstig ist, da an dieser Stelle zu große Variationen des Abstandes für den erstrebten Zweck erforderlich
40 wären. Der Abstand d9 ist ebenfalls ungünstig, da die entsprechende Kurve einen Wendepunkt besitzt und die für eine Optimierung im UV-Bereich nötige Abstandsänderung vom Vorzeichen her entgegengesetzt zu der für den sichtbaren Bereich erforderlichen verläuft. Hingegen sind die Abstände d4 und d7 gut geeignet, da zum einen sehr viel geringere Abstandsänderungen zur Anpassung an die verschiedenen Wellenlängen ausreichend sind und zum anderen die Kurven im gesamten Spektralbereich keinen Wendepunkt besitzen, so daß bei Optimierung des Öffnungsfehlers im UV-Bereich zwischen 240 und etwa 280 nm der Öffnungsfehler auch im sichtbaren Spektralbereich gut korrigiert bleibt. Im konkreten Ausführungsbeispiel nach Fig. 1 werden die beiden relativ zueinander verschiebbaren Teile a und b des Objektivs durch den Luftabstand d7 getrennt.

Das Ausführungsbeispiel nach Fig. 2 unterscheidet sich von dem nach Fig. 1 dadurch, daß die
50 Frontlinse als Kittglied aus den beiden Linsen L1 und L2 besteht. Hierdurch lassen sich die aperturabhängigen Fehler gleich in der Frontgruppe deutlich minimieren, so daß die Grundkorrektion dieses Objektivs, wie aus den Kurven nach Fig. 6 hervorgeht, von vornherein besser ist. Die Linsendaten sind in Tabelle II aufgeführt.

Zur Optimierung des Öffnungsfehlers für verschiedene UV-Wellenlängen eignen sich die Luftabstände
55 d3 und d5. Dies geht aus der graphischen Darstellung nach Fig. 10 deutlich hervor. Auch der Luftabstand d8 ist für diesen Zweck noch geeignet. Denn in den drei dargestellten Fällen sind nur relativ geringe Variationen der Luftabstände nötig, wobei zur Optimierung des Öffnungsfehlers sowohl zum kürzerwelligen UV als auch zum längerwelligen sichtbaren Spektralbereich hin die Abstandsänderungen in die gleiche

Richtung verläuft.

Das Objektiv im Ausführungsbeispiel nach Fig. 3 besitzt in der Frontlinsengruppe eine Linse weniger. Dort schließt sich direkt an die Frontlinse L1 das aus den beiden Linsen L2 und L3 bestehende konkav-konvexe Kittglied an. Hierdurch ist die Korrektur von Öffnungsfehler und Gaußfehler stark erschwert und auch die Koma ist nicht mehr so gut zu korrigieren. Bezüglich des Öffnungsfehlers ist dies in den 5 Korrekturen nach Fig. 7 zu erkennen. Weiterhin besitzt das aus den drei Linsen L8, L9 und L10 bestehende, zweite Kittglied vom Vorzeichen her andere Radien als das entsprechende, aus den Linsen L9, L10 und L11 gebildete Kittglied im Ausführungsbeispiel nach Fig. 1. Während dort nämlich eine zerstreuen- 10 de Linse von zwei Sammellinsen eingeschlossen ist, ist im Ausführungsbeispiel nach Fig. 3 eine Sammellinse, nämlich die Linse L9, von zwei Zerstreuungslinsen L8 und L10 eingeschlossen. Die Konstruktionsparameter dieses Ausführungsbeispiels sind in Tabelle III aufgeführt.

Zur Optimierung des Öffnungsfehlers auf verschiedene Wellenlängen im UV-Bereich sind für dieses Ausführungsbeispiel die Luftabstände d_2 und d_5 geeignet. Dies ergibt sich aus der graphischen Darstellung nach Fig. 11, wo die zur Minimierung des Öffnungsfehlers auf die betreffende Wellenlänge nötige 15 Abstandsänderung Δd für die Luftabstände d_2 und d_5 über der Wellenlänge aufgetragen ist. Aus fertigungstechnischen Gründen wird man bei diesem Objektiv den Luftabstand d_5 variieren. Die anderen Luftabstände d_7 und d_{11} sind für den beschriebenen Zweck nicht geeignet, da der Öffnungsfehler auf eine Abstandsänderung an dieser Stelle viel zu unempfindlich reagiert.

Das Ausführungsbeispiel in der Darstellung nach Fig. 4 entspricht im wesentlichen dem nach Fig. 1 mit 20 dem Unterschied, daß im zweiten Kittglied, das aus drei Linsen L9, L10 und L11 besteht, auch wieder zwei Radien bezüglich ihres Vorzeichens vertauscht sind, so daß anstelle der Zerstreuungslinse L10 in Fig. 1 hier eine Sammellinse von zwei Zerstreuungslinsen eingeschlossen ist. Außerdem ist hier für die Feldlinse ein Kittglied gewählt. Durch diese Maßnahmen ist, allerdings auf Kosten des Arbeitsabstandes, die Korrektur etwas besser als im Ausführungsbeispiel nach Fig. 1. Die entsprechenden Korrekturkurven für das 25 Ausführungsbeispiel nach Fig. 4 sind in Fig. 8 dargestellt und die Konstruktionsparameter in Tabelle IV aufgelistet.

Wie aus der Darstellung nach Fig. 12 hervorgeht, eignen sich bei diesem Objektiv die Luftabstände d_4 und d_2 zur Optimierung des Öffnungsfehlers im UV-Bereich. Die Abstände d_7 und d_9 sind weniger 30 geeignet, da hier entweder zu große Änderungen gefordert werden d_7 bzw. die erforderliche Abstandsvariation im UV-Bereich in eine andere Richtung läuft als im sichtbaren Spektralbereich d_{10} .

Die Arbeitsabstände der Objektive nach Fig. 1 bis Fig. 4 sind in den zugehörigen Tabellen I bis IV zu Anspruch 8, in denen alle Konstruktionsparameter aufgelistet sind, mit angegeben. Die dort ebenfalls angegebenen Bereiche für die Aperturen von 0,8 bis 0,88 ergeben sich aus dem großen Spektralbereich, 35 für den diese Objektive korrigiert sind. Sie sind so zu verstehen, daß die Apertur von 0,8 jeweils für den sichtbaren Spektralbereich und die höhere Apertur von zwischen 0,86 und 0,88 für den UV-Bereich gilt. Für die Linsen sind im übrigen ausnahmslos die beiden Glasarten Suprasil und Flußspat verwendet, die folgende Brechungsindizes n_d und Dispersionen ν_d besitzen: Suprasil $n_d = 1.4585$, $\nu_d = 67,3$; Flußspat $n_d = 1.4339$, $\nu_d = 95,2$.

In einem Vergleich zwischen den Fig. 13 und 14 läßt sich sehr gut erkennen, welche Vorteile durch die 40 von der Erfindung vorgeschlagenen Maßnahmen erzielt werden können. Dargestellt ist in beiden Fällen die räumliche Intensitätsverteilung des Airy-Scheibchens des Objektivs im Ausführungsbeispiel nach Fig. 1. Der mittlere Durchmesser des Airy-Scheibchens ist ein gutes Maß dafür, ob bzw. wie gut sich ein kollimierter Lichtstrahl vom Objektiv beugungsbegrenzt fokussieren läßt. Hält man den Luftabstand d_7 des Objektivs nach Fig. 1 konstant bei $d_7 = 0,18$ mm, so ergibt sich zwar für die Wellenlänge $WL = 302$ nm ein 45 scharfer, beugungsbegrenzter Fokus. Für die übrigen Wellenlängen und insbesondere die UV-Wellenlängen $WL = 237,8$ nm und $WL = 248,2$ nm ist der Fokusspot jedoch stark verbreitert aufgrund des dort nicht optimal korrigierten Öffnungsfehlers. Dies läßt sich in Fig. 13 klar erkennen.

Wird hingegen der Luftabstand d_7 entsprechend dem in Fig. 9 aufgetragenen Zusammenhang auf die gewünschten Wellenlängen z.B. $WL = 237,8$ nm oder $WL = 248,2$ nm eingestellt, so ergeben sich auch 50 für diese Wellenlängen beugungsbegrenzte Fokii, die eine hochauflösende Vermessung von z.B. Waferstrukturen erlauben. Für die Objektive ist deshalb eine Korrekturfassung vorgesehen, mit deren Hilfe in an sich bekannter Weise die beiden Teile a und b des Objektivs zur Abstimmung auf die gewünschte Wellenlänge verschoben werden können. Der Einstellring der Korrekturfassung ist deshalb zweckmäßig mit einer Wellenlängen-Skala markiert.

Es ist klar, daß eine solche Korrekturfassung außerdem gekoppelt sein kann mit einer Einrichtung, die 55 eine etwaige Verschiebung der Fokallage infolge der Korrekturbewegung durch ein Verschieben des gesamten Objektivs ausgleicht. Solche Korrekturfassungen sind von ihrem mechanischen Aufbau her an sich bekannt und werden deshalb an dieser Stelle nicht näher beschrieben.

Patentansprüche:

1. UV-taugliches Trockenobjektiv für Mikroskope, dadurch gekennzeichnet, daß das Objektiv mit einer Apertur größer als 0,7 und einem Abbildungsmaßstab von mindestens 60 mal bezüglich des Öffnungsfehlers für den sichtbaren Spektralbereich und gleichzeitig für eine ausgewählte UV-Wellenlänge korrigiert ist, daß das Objektiv ein erstes, eine Linse oder Linsengruppe aufweisendes Teil (a) und ein zweites, eine Linsengruppe aufweisendes Teil (b) umfaßt und daß das erste Teil (a) und das zweite Teil (b) gegeneinander verschiebbar sind, wobei die ausgewählte UV-Wellenlänge, bei der der Öffnungsfehler korrigiert ist, von dem veränderlichen Luftabstand ($d_7; d_5; d_4$) zwischen der Linse oder Linsengruppe des ersten Teils (a) und der Linsengruppe des zweiten Teils (b) abhängt.
2. Objektiv nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß Abstandsänderungen des veränderlichen Luftabstandes ($d_7; d_5; d_4$) die Wellenlängen, für die der Öffnungsfehler optimal korrigiert ist, im UV-Bereich und im sichtbaren Spektralbereich gleichzeitig in entgegengesetzter Richtung verschieben.
3. Objektiv nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß Änderungen des Öffnungsfehlers in Abhängigkeit von der Wellenlänge jeweils in Richtung auf den längerwelligen sichtbaren Spektralbereich und in Richtung auf den kürzerwelligen UV-Bereich in beiden Fällen das gleiche Vorzeichen besitzen.
4. Objektiv nach Anspruch 1 – 3, dadurch gekennzeichnet, daß sich der Öffnungsfehler im UV-Bereich bis mindestens zu einer Wellenlänge von 260 nm beugungsbegrenzt korrigieren läßt.
5. Objektiv nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die durch eine Verschiebung des hinteren Teils (b) des Objektivs bewirkte Änderung des Öffnungsfehlers und der Beitrag, den der vordere Teil (a) des Objektivs zum Öffnungsfehler beim anschließenden Nachfokussieren liefert, das gleiche Vorzeichen besitzen.
6. Objektiv nach einem der Ansprüche 1 – 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Objektiv zwischen elf und dreizehn Linsen besitzt, wobei die Linsen aus Suprasil und Flußspat bestehen.
7. Objektiv nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Objektiv in Lichteinfallrichtung gesehen folgenden Aufbau besitzt: – eine konkav-konvexe, als Einzellinse (L1) oder Kittglied (L1, L2) ausgebildete Frontlinse, – eine sammelnde, aus einer konkav-konvexen Einzellinse (L2; L3) und einem konkav-konvexen Kittglied (L3/L4; L4/L5) oder nur aus einem konkav-konvexen Kittglied (L2/L3) bestehende Linsengruppe, – eine sammelnde Einzellinse (L5; L6; L4), – ein erstes aus drei Linsen (L6 – L8; L7 – L9; L5 – L7) bestehendes Kittglied, – ein zweites aus drei Linsen (L9 – L11; L10 – L12; L8 – L10) bestehendes Kittglied und – eine in größerem Luftabstand ($d_{17}; d_{18}; d_{15}$) dazu angeordnete zerstreuliche Einzellinse (L12; L13; L11) oder ein zerstreuliches Kittglied (L12/L13).
8. Objektiv nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Objektiv die in einer der nachfolgenden Tabellen I, II, III oder IV angegebenen Daten besitzt:

AT 400 492 B

Tabelle I

(Fig. 1)			
Nr.	Radius r/mm	Dicke/Luftabstand d/mm	Glasart
0		.249	
1	-.9716	.740	SPL
2	-.7608	.100	
3	-3.4974	.950	FL
4	-1.6312	.100	
5	-3.3497	.600	SPL
6	4.2170	2.300	FL
7	-3.2081	.180 (variabel)	
8	-27.1880	1.300	FL
9	-5.3088	.100	
10	PLAN	2.100	FL
11	-3.3982	.900	SPL
12	3.9242	2.300	FL
13	-10.5930	.100	
14	12.3200	2.150	FL
15	-4.0388	.900	SPL
16	3.1623	2.000	FL
17	PLAN	7.840	
18	-4.8697	1.000	FL
19	-25.3000	22.570	
Arbeitsabstand $d_o = 0.249$ mm Numerische Apertur $NA = 0.80 - 0.87$ Abbildungsmaßstab $\beta = -100\times$ SPL = Suprasil FL = Flußpat			

AT 400 492 B

Tabelle II

(Fig. 2)			
Nr.	Radius r/mm	Dicke/ Luftabstand d/mm	Glasart
0		.137	
1	-1.0928	.300	SPL
2	20.6762	.790	FL
3	-.8459	.100	
4	-4.1330	.800	FL
5	-1.8234	.100 (variabel)	
6	-4.6725	.500	SPL
7	3.4961	1.900	FL
8	-3.2424	.100	
9	-134.2580	1.350	FL
10	-5.2459	.100	
11	35.3889	2.803	FL
12	-5.6431	.900	SPL
13	2.9163	1.900	FL
14	-11.6860	.100	
15	34.6749	1.800	FL
16	-2.9203	.900	SPL
17	2.6543	1.700	FL
18	81.5481	8.059	
19	-6.0541	1.000	FL
20	-13.3604	23.140	
Arbeitsabstand $d_o = 0.137$ mm Numerische Apertur $NA = 0.80 - 0.88$ Abbildungsmaßstab $\beta = -100\times$ SPL = Suprasil FL = Flußpat			

AT 400 492 B

Tabelle III

(Fig. 3)			
Nr.	Radius r/mm	Dicke/ Luftabstand d/mm	Glasart
0		.147	
1	-1.53483	1.013	SPL
2	-.82861	.100	
3	-20.9844	.500	SPL
4	2.42272	1.950	FL
5	-2.44624	.100 (variabel)	
6	-74.5372	1.350	FL
7	-5.05030	.100	
8	19.7665	1.800	FL
9	-3.33476	.700	SPL
10	2.83726	1.800	FL
11	-20.5046	.100	
12	93.7628	.700	SPL
13	2.64222	2.600	FL
14	-2.57330	.700	SPL
15	-11.9566	14.77	
16	-29.0833	1.000	FL
17	31.0171	19.05	
Arbeitsabstand $d_o = 0.147$ mm Numerische Apertur $NA = 0.80 - 0.86$ Abbildungsmaßstab $\beta = -100\times$ SPL = Suprasil FL = Flußspat			

AT 400 492 B

Tabelle IV

(Fig. 4)			
Nr.	Radius r/mm	Dicke/Luftabstand d/mm	Glasart
0		.140	
1	-.8233	.937	SPL
2	-.7741	.100	
3	-3.4588	.850	FL
4	-1.7700	.100 (variabel)	
5	-3.4445	.600	SPL
6	4.0231	2.050	FL
7	-3.0358	.100	
8	-49.0796	1.300	FL
9	-5.1074	.100	
10	68.5668	1.900	FL
11	-3.3799	.900	SPL
12	4.1450	1.800	FL
13	-12.9361	2.056	
14	37.1443	.900	SPL
15	2.7743	3.800	FL
16	-2.9506	1.000	SPL
17	PLAN	19.820	
18	-9.2679	.900	FL
19	13.8695	1.200	SPL
20	-22.4723	7.926	
Arbeitsabstand $d_o = 0.140$ mm Numerische Apertur $NA = 0.80 - 0.87$ Abbildungsmaßstab $\beta = -100\times$ SPL = Suprasil FL = Flußspat			

Hiezu 9 Blatt Zeichnungen

Fig. 1

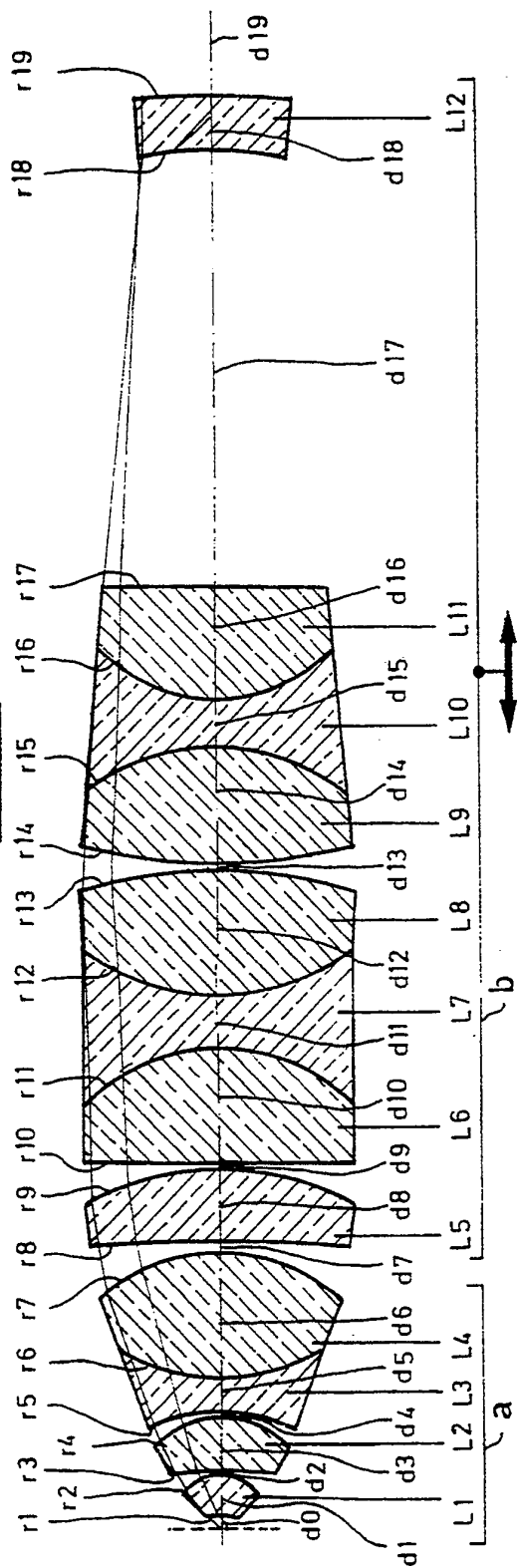


Fig. 2

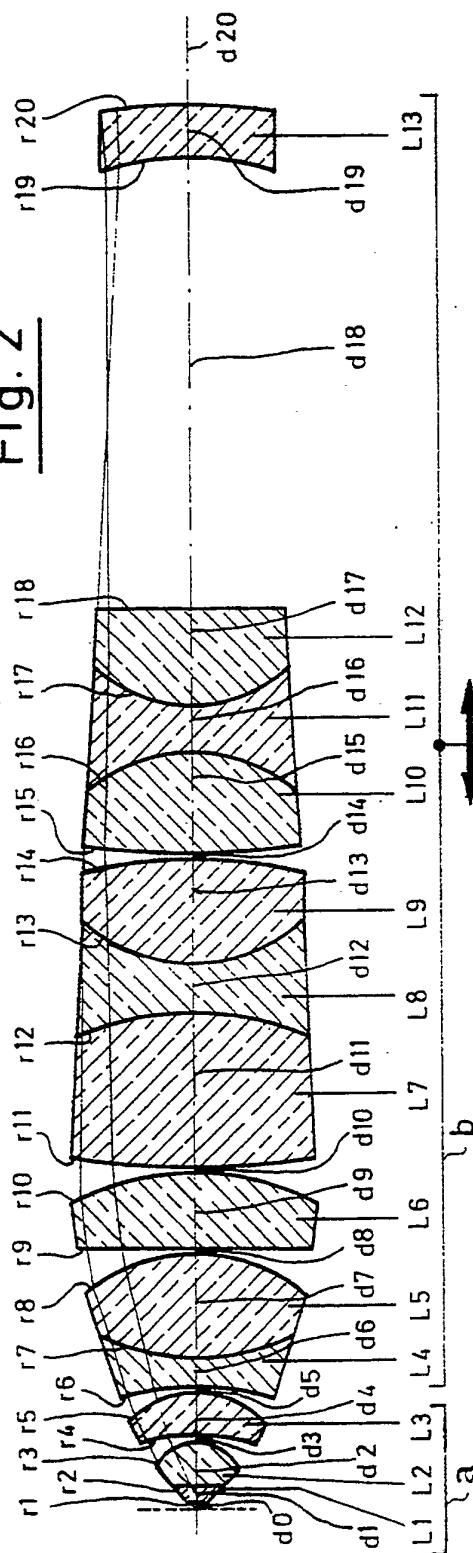


Fig. 3

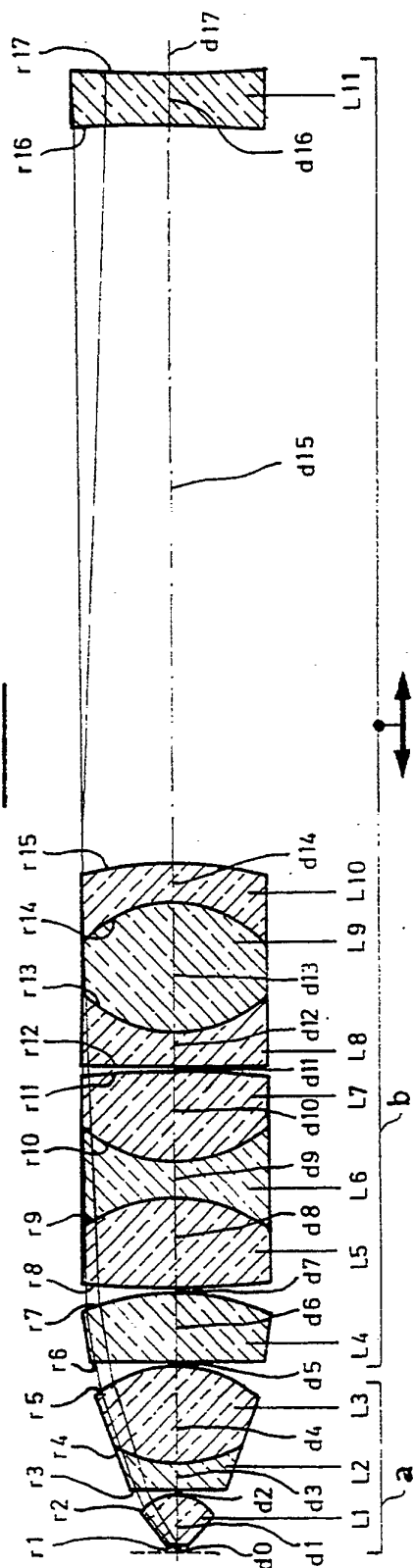
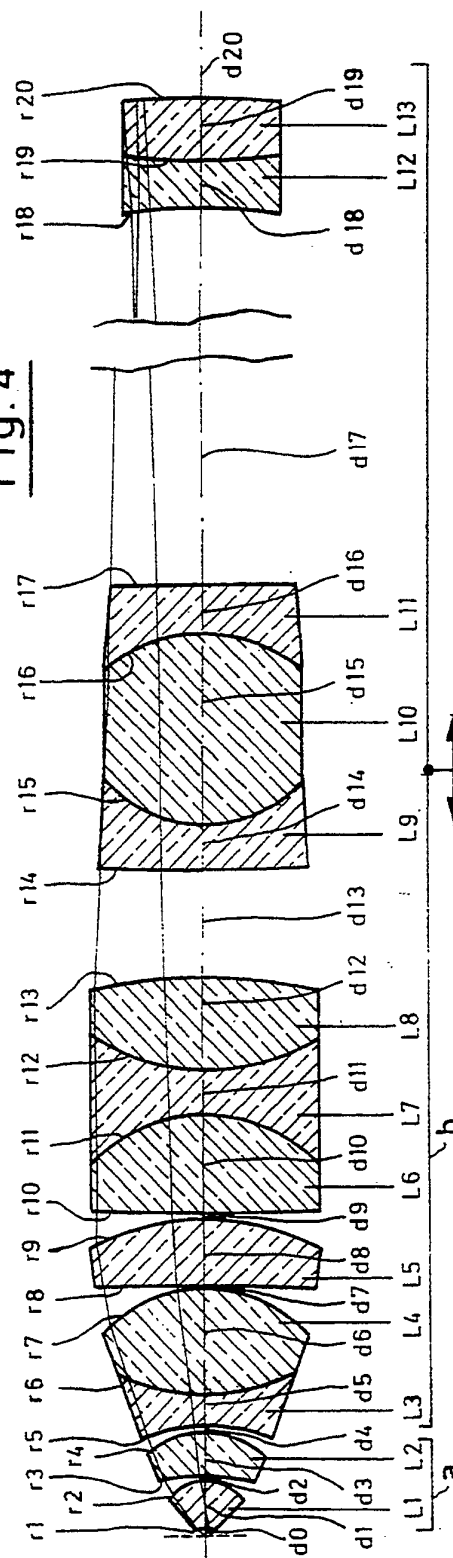
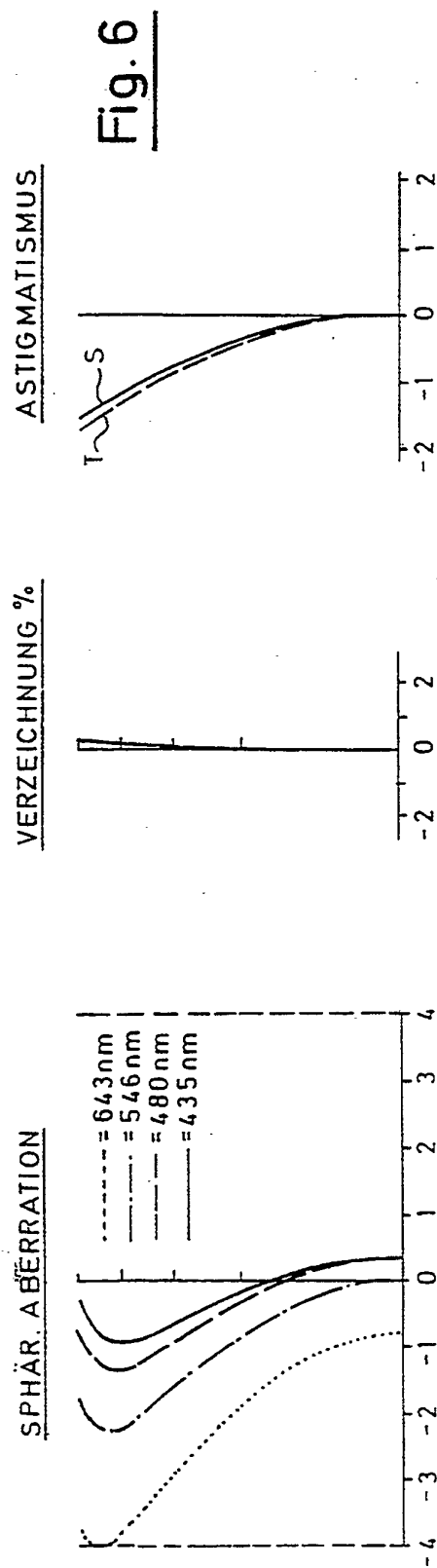
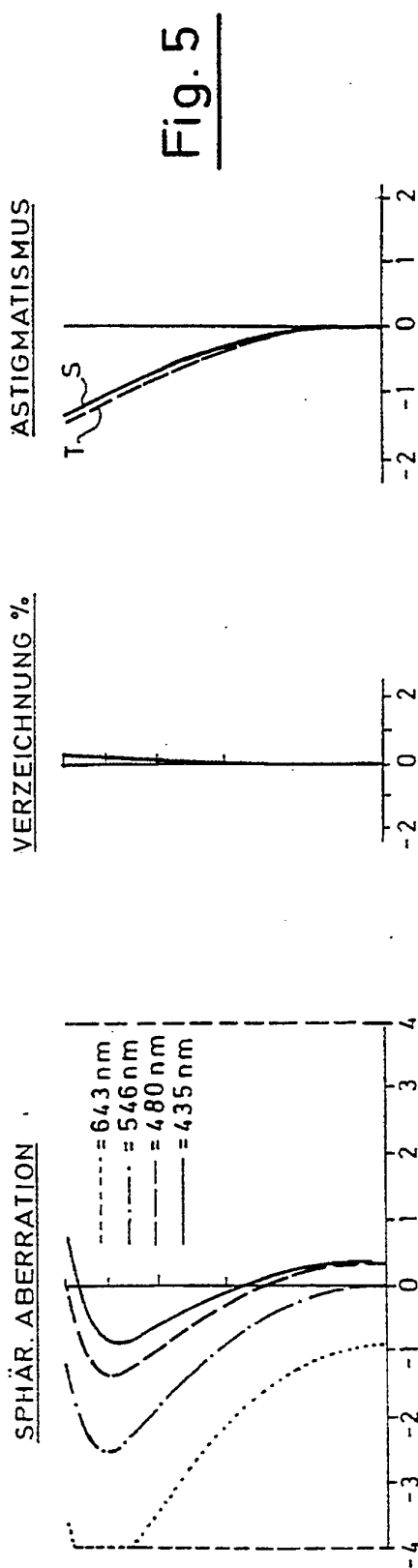


Fig. 4





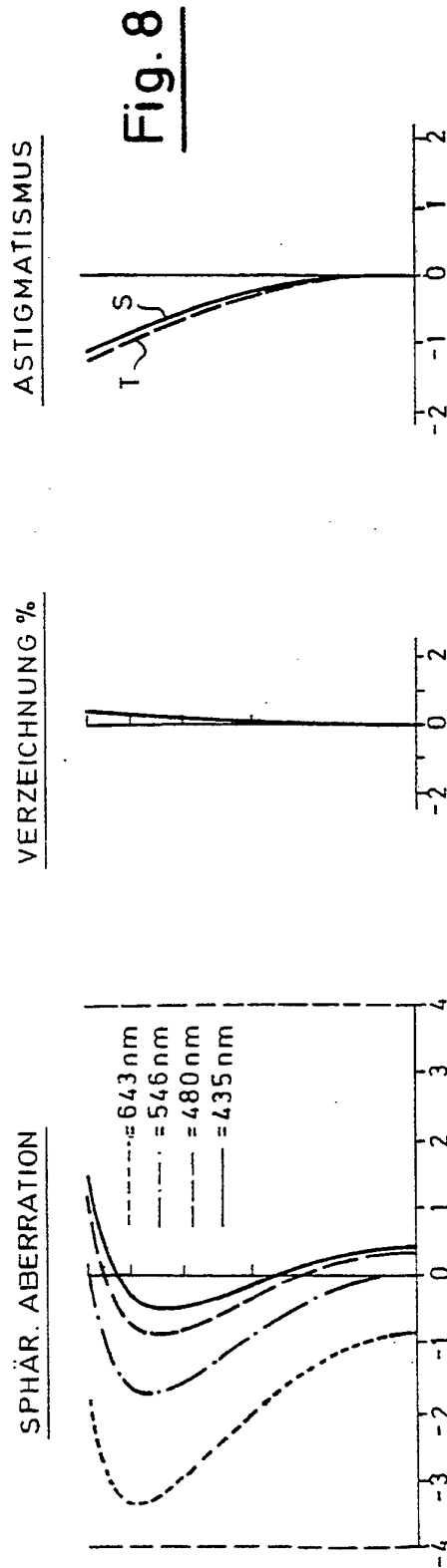
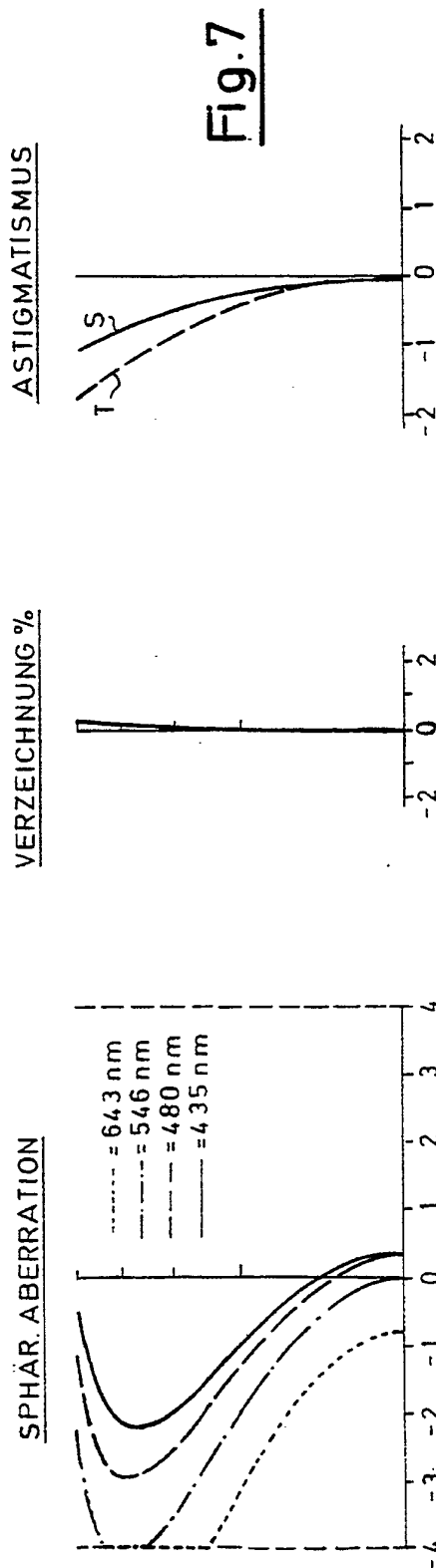


Fig. 9

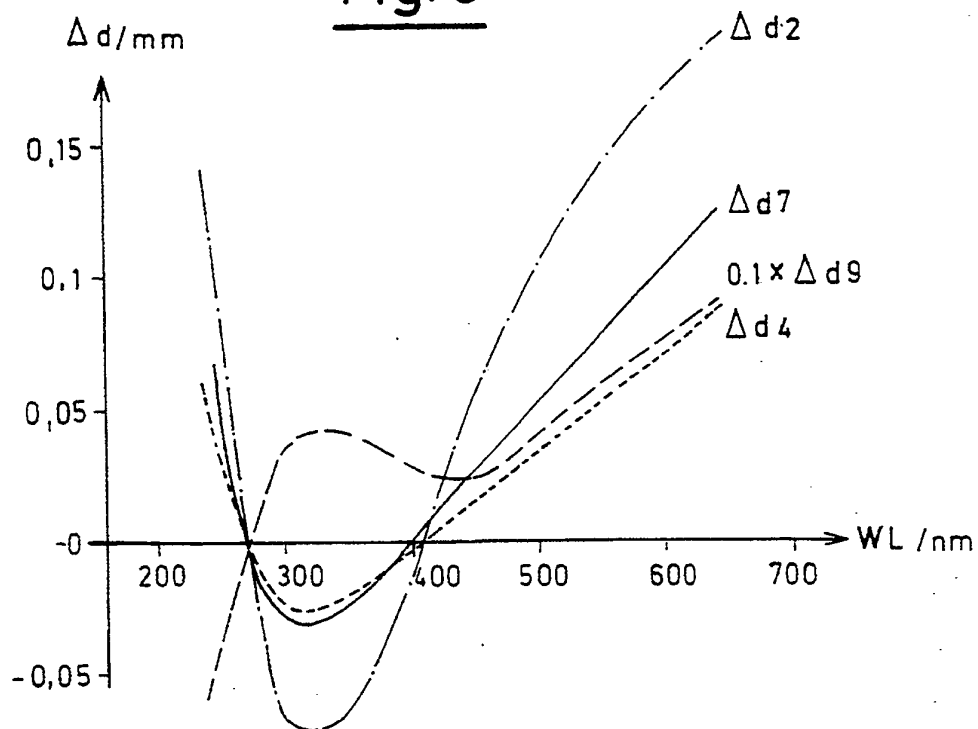


Fig. 10

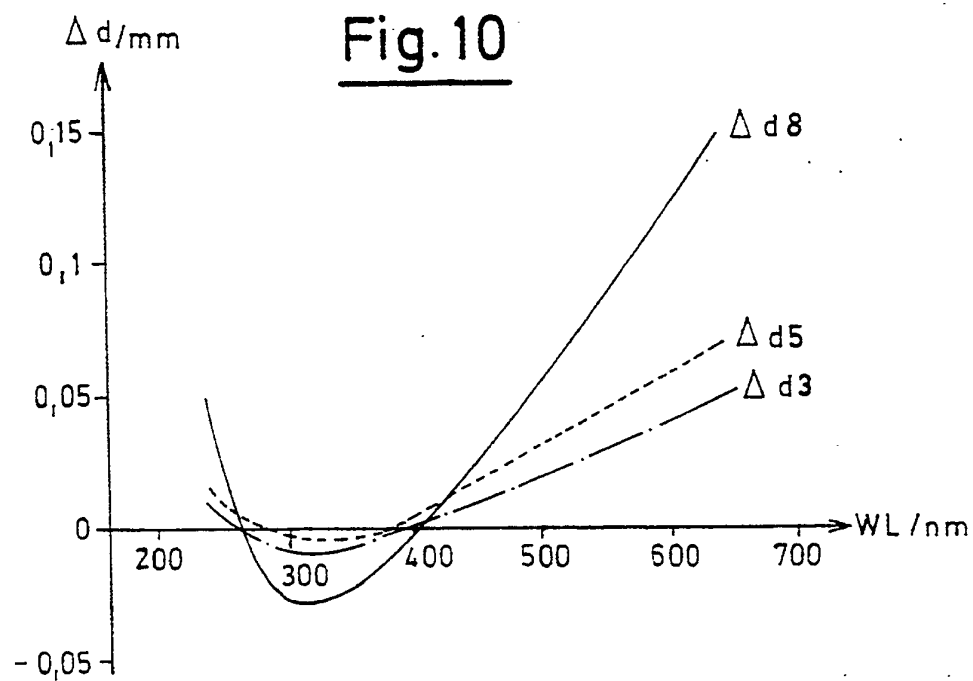


Fig. 11

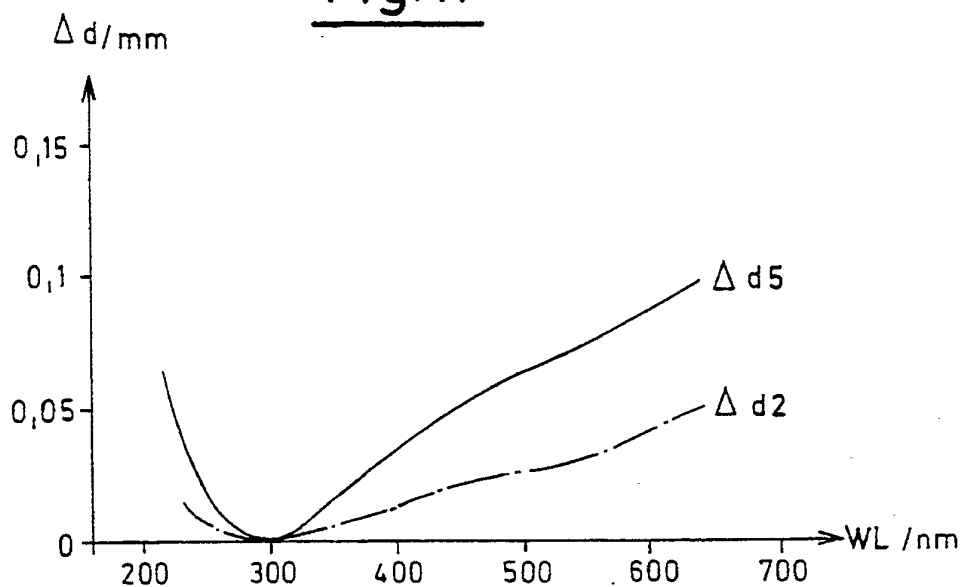


Fig. 12

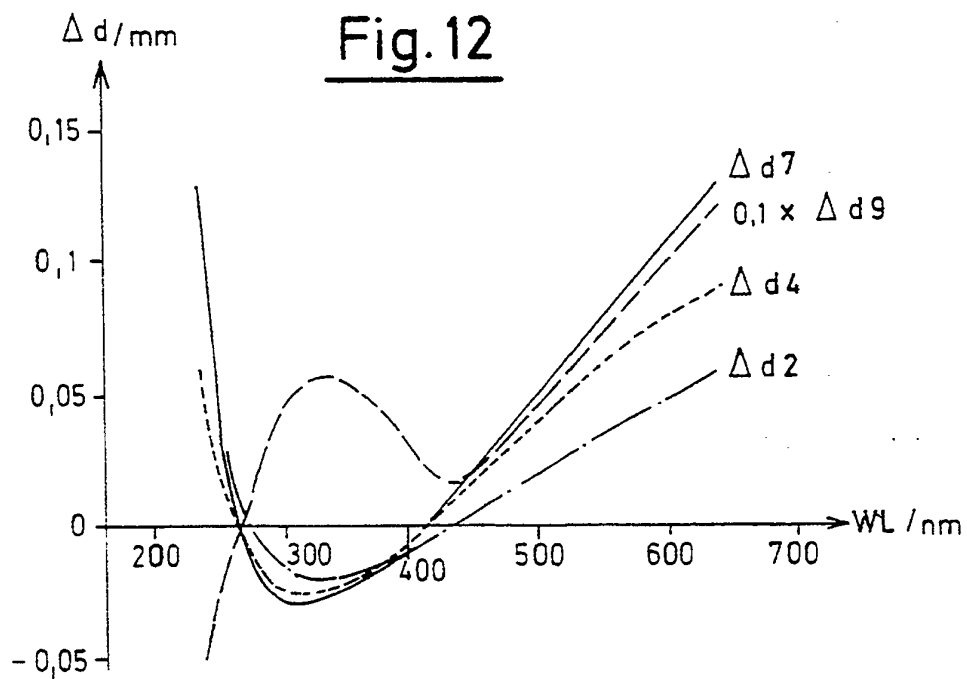


Fig. 13

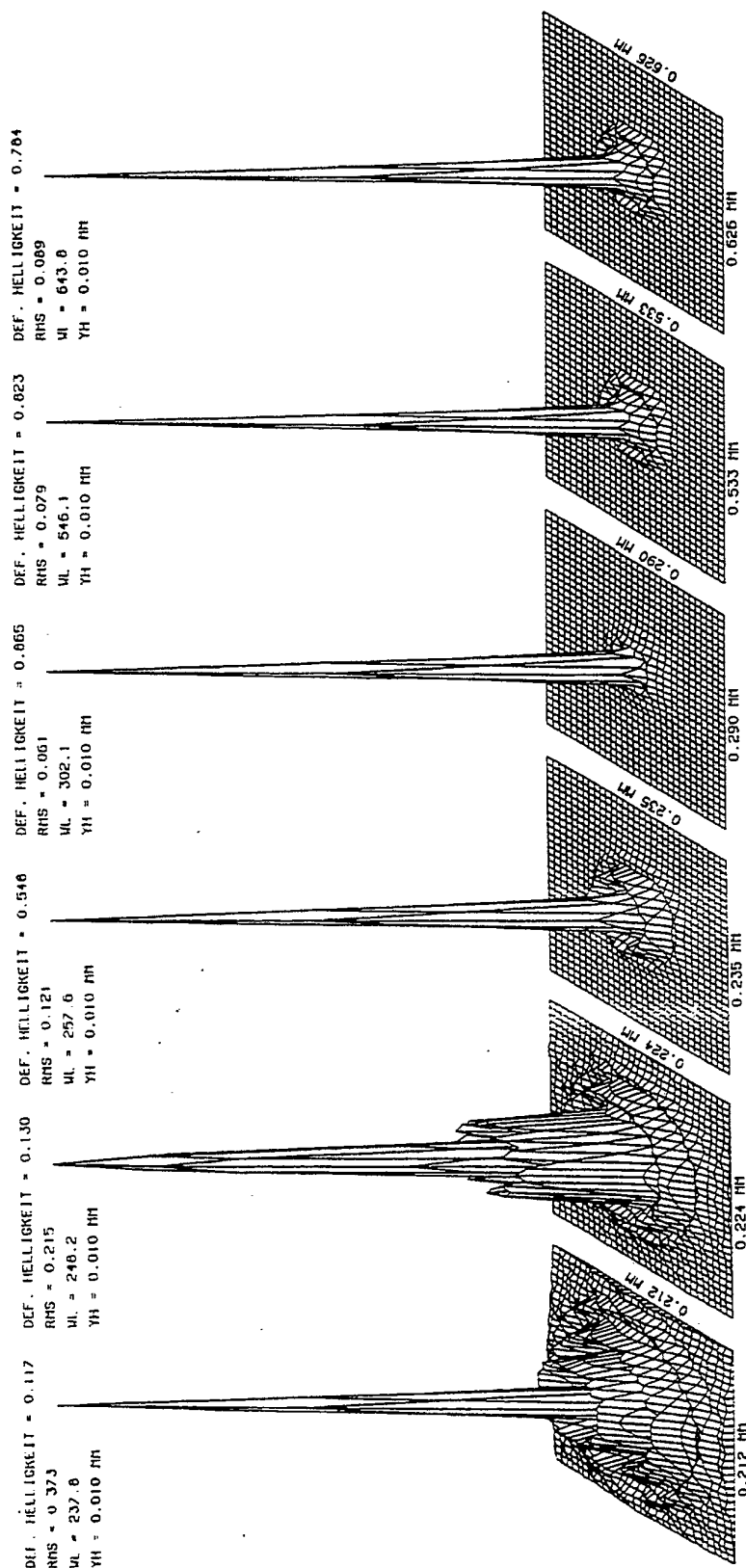


Fig.14

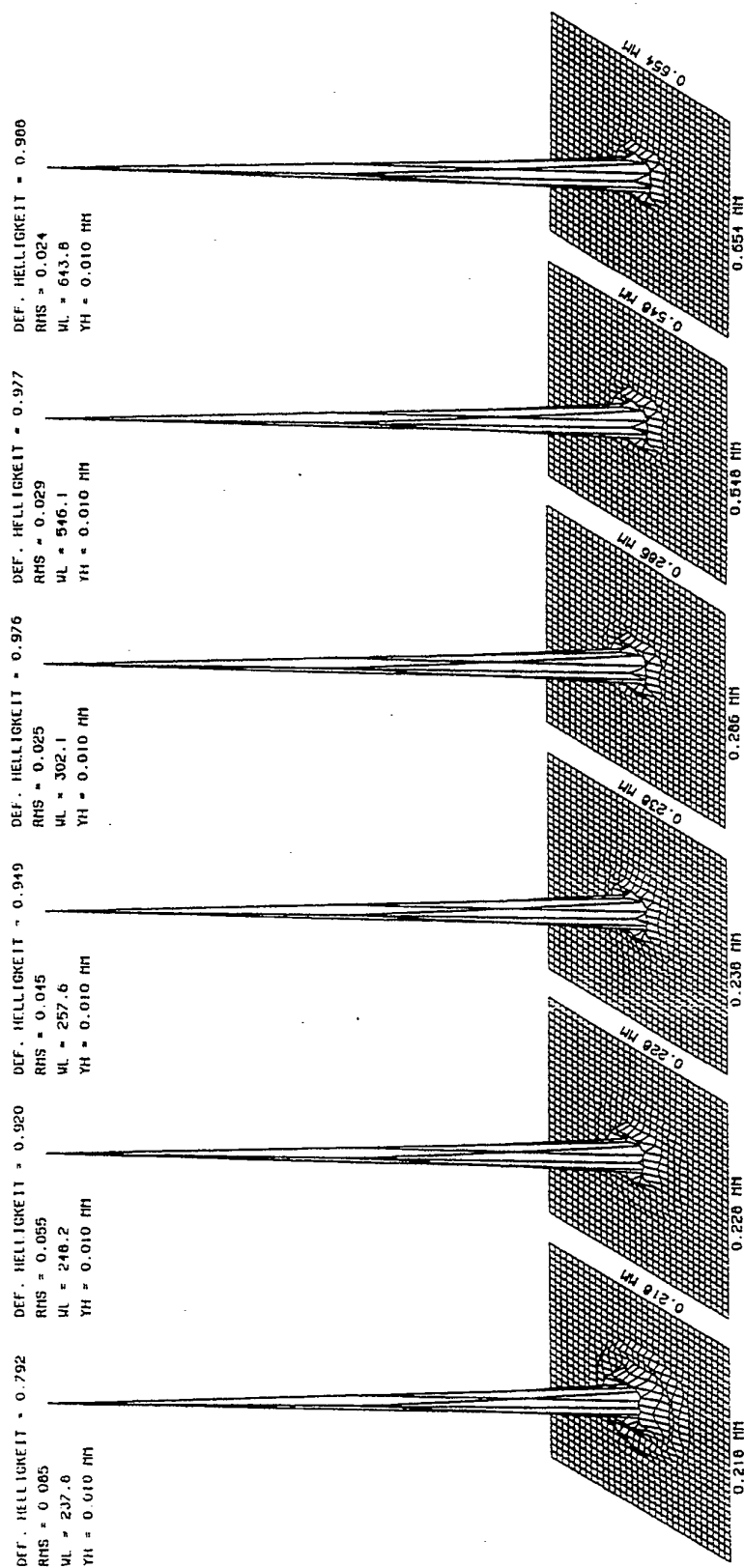


Fig. 15

